

자계내에서 직류 차단시 아크소호 특성에 관한 연구

(A Study on the Characteristics of Arc Quenching of DC Interruption in the Magnetic Field)

李東憲* · 宋炫直** · 朴元柱** · 李廣植** · 李東仁**

(Dong-Heon Lee · Hyun-Jig Song · Won-Zoo Park · Kwang-Sik Lee · Dong-In Lee)

요 약

본 연구는 자계내에서 직류 차단설비의 아크소호 현상을 규명하기 위하여 침대 평판 전극에 부극성 직류 고전압 인가시 아크전압 및 전류 그리고 이들 파형특성을 자계세기의 변화에 따라 연구 검토하였다.

본 연구에서 얻은 중요한 결론은 다음과 같다. 자계가 인가되지 않았을 때는 아크동특성이 나타나지 않고 아크전압의 감소와 아크전류의 증가가 순간적으로 이루어진 후, 일정하게 유지되었을 뿐만 아니라 전류 파형으로 부터 아크방전이 연속적으로 발생됨을 알 수 있었다. 자계가 인가되면 아크동특성이 나타난 후, 서서히 아크전압이 감소되고 아크 전류가 증가되어 전압과 전류가 일정하게 유지되었고, 인가자계가 증가될수록 아크전압은 증가되고 아크전류는 감소되었다. 그리고 전류파형으로 부터 아크방전은 단속적으로 됨에 따라 전류영점이 나타남을 알 수 있었고, 전류영점이 나타나는 주기와 아크방전의 단속 주기가 일치하였으며 자계가 증가될수록 주기도 증가되었다.

Abstract

In this paper, the arc currents, voltages and these waveforms were investigated when negative DC high voltages applied to needle-plane electrodes to study arc quenching phenomena of DC interruption in the magnetic field.

The conclusion of this study are as follows : There are no dynamic arc characteristics in the no magnetic field. Not only dynamic arc characteristic but also zero points of arc current which are generated from repeating frequency of arc discharge under the magnetic fields were observed. The more magnetic field were applied, the repeating frequency of arc discharge were more increased.

*正會員 : 구미전문대학 전기과

接受日字 : 1996年 4月 11日

**正會員 : 영남대학교 공과대학 전기전자공학부

1. 서 론

전력계통의 전압이 높지 않았던 1920년 이전에는 계통의 회로를 차단시킬 때 접점의 이격거리를 증가시킴으로써 접점사이에 발생하는 아크가 소호되면서 회로가 차단되는 단순한 기능의 차단장치가 사용되었다. 그러나 1920년대 부터 전력계통의 전압과 전류가 증가됨에 따라서 차단장치의 차단능력을 향상시키고 회로에 과전류가 흐르거나 단락 또는 지락등의 異常狀態가 발생되면 電路를 자동적으로 개방시켜 기기를 보호하기 위한 차단기(Circuit breaker)가 개발되었다.

1821년 Davy, H.가 아크를 발견한 후 지금까지 전극구성 방법 및 인가전압의 종류 그리고 전극사이의 유전체 종류등에 대한 아크의 제반 현상과 특성뿐만 아니라, 응용면에서도 다양하게 연구되었지만 아크의 기구들이 현재까지도 명확하게 설명되지 않고 있다.¹⁾ 그러나 지금까지 수행된 연구들과 차단기의 구조적인 면을 비교하면 차단기 접점개폐시 접점 사이의 전계가 불평등하게 되므로 불평등전계를 형성하는 전극에서의 아크연구 그리고 접점이 개폐되는 공간의 절연력을 향상시키고자 소호매체로 유전체를 사용하므로 유전체내에서의 아크연구들은 차단기의 차단능력을 향상시키는데 기여하였다. 차단기의 차단능력은 접점 개폐시 발생하는 아크의 소호능력과 직결되므로 현재 사용되고 있는 차단기는 소호매체의 종류에 따라 유입차단기, 진공차단기, 공기차단기, 가스차단기 및 자기차단기로 분류되고 있다.²⁾

이들 차단기중에서 빠른 풍속의 압축공기를 사용하여 아크를 소호시키는 공기차단기의 소호방법과 유사하지만 압축공기 대신 접점에 인가된 자계와 아크전류 사이에 발생된 電磁力을 이용하여 접점사이에 발생된 아크를 강제적으로 아크슈우트(Arc chute)속으로 불어 넣음으로써 아크방전로의 길이를 증가시켜 아크의 임피던스를 증가시킴과 동시에 강력한 냉각 작용을 발휘하여 아크를 소호시키면서 회로를 차단시키는 자기차단기는 차단용량이 15~36[kV]정도이지만 간단한 구조와 저렴한 가격 그리고 유지와 보수가 용

이한 장점을 가지고 있어 많이 사용되고 있다.

또한 이와 같은 자기차단기의 특성으로 인하여 자계에 의한 전자력과 SF₆, 절연유등의 소호매체 특성을 복합하여 소호매체로 이용함으로써 차단능력을 향상시킬 수 있는 장점을 가지고 있어 다양하게 응용될 수 있고 이에 대한 연구도 수행되어 왔다.^{3,4)}

이와 같은 장점을 가진 자기차단기의 아크 차단 현상에 대한 연구는 아크전류를 구동코일에 흐르게 함으로써 자속을 발생시키는 전자석을 이용하여 전류영점이 존재하는 교류 차단에 대한 연구가 주로 많이 이루어지고 있다. 그러나 전류영점이 존재하지 않는 직류차단에 대하여 수행된 연구는 드문 실정이다.

따라서 본 연구는 전자석 보다 구조가 간단한 영구자석을 이용한 자계내에서 침-평판 전극에 부극성 직류전압인가시 아크방전의 전압 및 전류 그리고 이들의 파형 변화를 자계강도에 따라 비교 분석함으로써 자계가 아크방전에 미치는 영향을 조사하여 전류차단 현상을 규명함으로써 이 결과를 차단기 등의 전력설비 설계에 필요한 기초적인 자료로 제공하고자 한다.

2. 실험 장치 및 방법

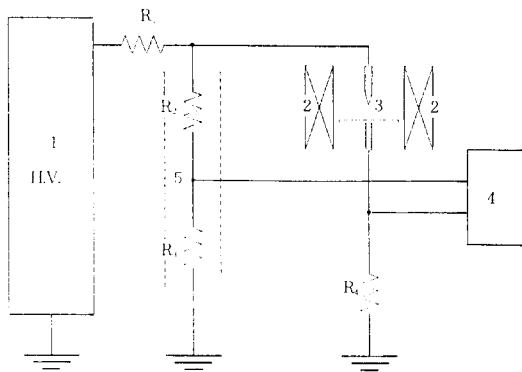
그림 1은 본 연구에 사용된 실험 장치의 전체 구성도이다. 정극성 보다 부극성의 방전전압이 높고 방전의 진전이 안정되어 관측이 용이하기 때문에⁵⁾ 본 실험에서는 최대 출력전압이 부극성 직류 50[kV]이고 내부에 전압계, 전류계가 내장된 Hipotronic社의 고전압 발생 장치를 사용하였고, 전극계는 직경 4[mm], 침단의 곡률반경 1[mm], 침예도가 60°인 침전극과 직경이 40[mm], 두께 5[mm]인 근사 로고스키 평판전극으로 침-평판전극계로 구성하였다. 그리고 전극에 자계가 인가되지 않았을 때 전극 간극이 6[mm]보다 크면 아크전류가 상당히 증가되어 고전압 발생 장치의 차단기가 작동하여 측정이 불가능하였으므로 전극 간극을 6[mm]로 하였다.

침-평판전극계에 자계를 인가하기 위하여 사용된 영구자석은 가로 60[mm], 세로 60[mm], 두께

25[mm]이며 표면 자속밀도가 3.8[kG]인 희토류(Nd-Fe-B) 자석으로써 뒷면에 두께 10[mm]의 純鐵板을 부착시켜 자석 후방으로의 누설 자속을 억제시킨 두 개의 자석이 대향되도록 배치하였다.

그리고 영구자석의 대향거리를 조절함으로써 침전극과 평판전극의 수직 중심축상의 자계강도를 0.0[kG]~3.0[kG]까지 변화시킬 수 있도록 장치하였으며 최대 측정범위가 30[kG]인 자속계(Walkert, MG-2A)를 이용하여 자속밀도를 측정하였다. 여기서 0.0[kG]라 함은 영구자석을 제거하였을 때이다.(이하 0.0[kG]라 함). 아크방전이 일어날 때 까지 초당 1[kV]가 인가전압을 상승시켰고, 아크가 발생되면 인가전압 상승을 중단시킨 후 분압기($R_2 : R_3 = 2000 : 1$)에서 검출된 아크방전의 전압파형과 노이즈를 방지하기 위하여 금속함으로 차폐된 전류 측정용 무유도저항($R_4 = 50[\Omega]$) 전단에서 검출된 전류파형을 오실로스코프(LeCroy 9350AL, 500[MHz], 1[Gs/s])로 판측하였다. 그리고 아크전압과 전류의 크기는 실험장치에서 분압기를 제거한 후 전원장치에 내장된 전압계와 전류계로 측정하였다.

이때 전압과 전류의 크기는 전극의 중심축상에 인가된 자계의 자속밀도(이하 인가자계라 함)를 0.5[kG] 단위로 2.5[kG]까지 증가시키면서 각 단위별로 10회씩 측정하여 최대치와 최소치를 제외시킨 측정치들을 평균한 것이다.



- 1. 직류분극성 전원
- 2. 영구자석
- 3. 침 평판전극
- 4. 오실로스코프
- 5. 분압기

그림 1. 실험 장치도
Fig. 1. Schematic diagram of experimental devices

3. 실험결과 및 검토

침전극에 인가된 전압을 상승시켜 6[kV]가 되면 코로나 방전이 일어나면서 침단에 스트리머가 형성되기 시작하였고 인가전압을 더욱 상승시켜 11[kV]가 되면 스트리머가 완전히 성장하여 평판전극에 도달되면 강한 빛과 아크음을 발하면서 전류가 크게 증가되고 단자전압이 감소되는 아크방전이 일어났다. 단자전압이 감소되기 직전의 전압을 아크개시전압이라 하였을 때 그림 2는 인가자계의 세기에 따른 아크개시전압의 특성을 나타낸 것이다. 인가자계의 세기가 증가되면 아크개시전압이 감소되지만 감소의 정도가 크지 않았음을 알 수 있었다. 이와 같은 아크개시전압의 감소는 전자나 이온들이 전자계내에서 사이클로트론 운동을 함으로써 충돌전리작용이 증가하기 때문이고⁶⁾ 감소의 정도가 크지 않음은 코로나 방전전류가 약 100~200[μ A] 정도로 아주 미소하므로 자계내에서 전류와 자계에 의한 전자력의 영향이 거의 나타나지 않기 때문이라고 생각된다.

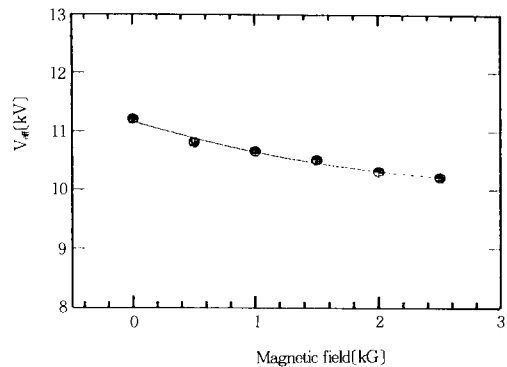


그림 2. 인가자계의 세기에 따른 아크개시전압의 변화
Fig. 2. Characteristics of arc onset voltage with variation of applied magnetic field intensity

자계가 인가된 상태에서 아크방전이 발생되면 전압의 감소와 함께 전류가 증가되는 현상이 순간적으로 나타난 후 전압이 증가되면 전류가 감소되고 전압이 감소되면 전류가 증가되는 진동(이하 아크 동특성 : dynamic arc characteristics)⁷⁾ 현상이 나타났고, 방전이 지속됨에 따라 진동은

감쇠되면서 아크 동특성 현상이 서서히 소멸되어 전압과 전류의 변화폭이 줄어들어 거의 일정하게 유지되는 현상이 나타났다.

이러한 아크전압과 전류변화에 대한 추이를 그림 3의 아크 동특성에 대한 전압-전류 특성으로 나타내었고, 곡선상의 점들은 아크전압과 전류가 진동할 때 아크전류가 감소되었다가 증가되는 정점에 달했을 때의 아크전류와 전압치를 나타낸 것이다.

그림 3의 각 곡선에서 전압최대치와 전류최저치에 해당되는 점은 아크 동특성이 나타난 시점의 전압과 전류치이며, 이들 값들은 V_{ab} , I_{ad} 라 하였다. 또 각 곡선의 전압최저치와 전류최대치에 해당되는 점은 아크 동특성 현상이 거의 소멸되어 전압과 전류치의 변화가 아주 미미하게 되었을 때의 전압과 전류치이며, 이때의 전압과 전류들은 각각 V_{am} , I_{am} 라 하였다.

그러나 인가자계가 0.0(kG)일 때 아크방전이 발생되면 아크 동특성 현상이 나타나지 않고 아크전압은 약 1.8(kV)로 감소되었고 아크전류는 약 6.6(mA)로 증가된 상태가 지속되었으므로 그림 3과 같이 아크 동특성 현상에 대한 전압-전류 특성곡선으로 도시할 수 없었지만 이 값을 0.0(kG)일 때의 V_{am} 과 I_{am} 으로 취급하였다. 이들 곡

선으로 부터 인가자계가 증가될수록 V_{ad} 와 V_{am} 은 커지고 I_{ad} 와 I_{am} 은 감소되었을 뿐만 아니라 그 변화율도 둔화됨을 알 수 있었다. 이와 같은 특성 변화는 다음과 같이 설명할 수 있다.

먼저 인가자계가 0.0(kG)일 때 V_{am} 과 I_{am} 만이 나타나게 된 것은 일반적인 공기중의 아크방전특성으로 해석이 가능하다.

즉, 공기중의 불평등전계에서 방전의 최종 단계인 아크방전이 일어나면 도전성이 아주 큰 플라즈마 상태의 아크방전로(arc channel)가 생성된다. 아크방전로는 플라즈마내의 하전입자들이 전극에 충돌되는 아주 미세한 점(이하 아크점)을 기점으로 하여 선상으로 양 전극간을 교락시키면서 아주 큰 전류밀도와 높은 온도를 유지하게 된다. 이처럼 전류밀도가 크고 높은 온도의 아크방전로가 양 전극간을 교락시키는 순간 열전자가 방출되기에 충분한 온도로 아크점이 가열된다. 아크점이 가열되면 열전자 방출 뿐만 아니라 전극으로 부터 비산되어 나온 금속증기가 전계에 의해서 전리되면서 하전입자의 수가 급증하게 되어 아크방전로의 임피던스가 감소되므로 전극 사이에 큰 아크전류가 흐르고 전압강하가 크게되어 아크전압이 감소되는 일반적인 아크방전기구⁵⁾⁷⁾⁸⁾에 의해 인가자계가 0.0(kG)일 때 아크전압과 전류가 V_{am} , I_{am} 으로 유지된다고 생각된다.

그러나 인가자계가 0(kG)일 때 큰 아크전류가 흐르지만 자계가 인가되면 식 (1)과 같은 전자력이 방전공간에 벡터방향으로 작용하게 된다.

$$\vec{F} = (\vec{I}_{arc} \times \vec{B}) + \vec{E} \quad (1)$$

여기서 \vec{F} 는 전자력이고 \vec{I}_{arc} 는 아크전류 그리고 \vec{B} 와 \vec{E} 는 전극에 인가된 자계와 전계이다.

전극표면에서 방출된 열전자, 금속증기가 전리되면서 생긴 전자와 금속이온 그리고 음극에서 전계에 의해 방출된 전자와 공기중에서 충돌전리에 의해 생성된 이온등의 하전입자들은 線狀의 아크방전로내에 분포되었다가 식 (1)의 전자력 방향으로 이동하게 되면 線狀의 아크방전로가 面狀(이하 아크면이라 함)으로 변형되었다. 사진 1은 자계내에서 아크방전로를 촬영한 것이며, 전자력에 의해 아크점이 아크면의 밑면을 따라서 분포되었고 평판전극에 접한 아크면의 밑면길이와 면

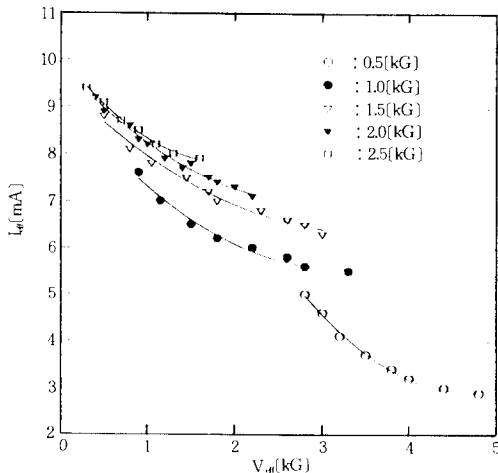


그림 3. 아크 동특성에 대한 인가자계 별 아크전압-전류 특성곡선

Fig. 3. Characteristic curves of arc voltage-current with variation of applied magnetic fields intensity for dynamic arc characteristics.

적이 커졌음을 보여주고 있다.

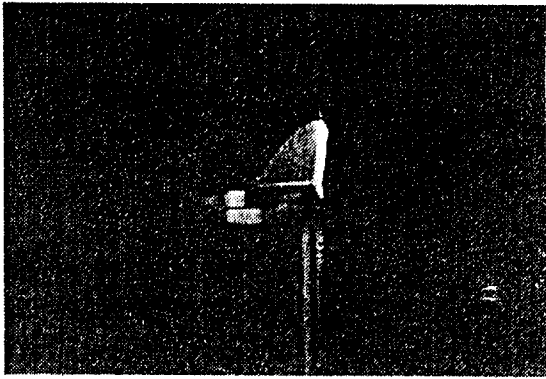


사진 1. 磁界내에서의 아크 방전路
Photo. 1. Arc channel in the magnetic field.

인가자계를 증가시키면 아크점이 전자력 방향으로 분산됨으로써 전극의 가열이 인가자계가 0.0(kG)때 보다 상대적으로 약화되기 때문에 아크점 온도의 감소와 더불어 전극에서의 열전자 및 금속증기의 방출이 둔화될 뿐만 아니라 전자력에 의한 강제력으로 인하여 식 (1)의 벡터 방향으로 아크방전로내의 열 에너지 손실과 하전입자들의 손실도 증가하게 된다. 이와 같은 전자력의 작용에 의해 아크방전로의 임피던스가 증가되어 아크전류는 감소되었고 아크전압은 증가된 것으로 생각된다.

따라서 그림 3과 같이 인가자계가 증가될수록 아크면의 면적 증가로 인하여 V_{an} , V_{am} 은 증가되고 I_{an} , I_{am} 은 감소되었다고 생각할 수 있다.

그리고 자계가 인가되었을 때 아크방전이 이루어지면 V_{ad} 와 I_{ad} 값이 나타나는 것으로부터 위에서 언급한 것 처럼 전자력에 의해 하전입자들이 감소되지만 감소되는 양이 전극사이의 절연을 회복시켜 아크방전을 완전히 종식시키기에는 충분하지 않음을 추정할 수 있다. 또한 아크방전이 지속되면서 서서히 전압과 전류가 V_{am} , I_{am} 값으로 되는 것은 아크방전이 지속됨에 따라서 아크방전로의 열에너지가 일정하게 되는 온도까지 아크점의 온도가 상승되면 소실되는 하전입자의 수와 생성되는 하전입자의 수가 같게됨으로써 아크동특성이 소멸되면서 나타난 현상이라고 할 수

있을 것이다.

그림 4와 5는 인가자계 변화에 따른 V_{am} 및 I_{am} 의 변화를 각각 나타낸 것이다. 이들 곡선으로부터 인가자계의 증가에 따라 V_{am} 은 증가되고 I_{am} 은 감소되었을 뿐만 아니라 증감의 변화율은 감소되었음을 알 수 있다. 이것은 인가자계가 증가되면 전자력의 증가로 전극 사이의 절연내력이 증가되므로 아크전압이 상승된다고 할 수 있다. 그리고 아크방전로의 열에너지가 일정하게 되는 과정에서 나타나는 온도포화 현상과 식 (2)와 같이 전자계내에서 하전입자의 구동속도는 자계의 세기에 반비례하는⁹⁾ 두 가지의 복합적인 요인에 의해 인가자계가 증가될수록 아크전압과 전류의 변화율이 둔화되어 포화되기 때문이라고 생각된다.

$$\vec{v}_{dr} = \frac{E_{\perp}}{B} (\vec{e} \times \vec{b}) \quad (2)$$

여기서 \vec{v}_{dr} 는 하전입자의 구동속도이고, B는 자계 그리고 E_{\perp} 는 전계로써 자계와 수직임을 표시하고 있으며 \vec{e} 와 \vec{b} 는 각각 전계와 자계의 단위 벡터이다.

이 현상은 고유속의 압축공기를 점점 사이에 넣어넣어 아크를 소호시키는 공기차단기의 차단원리에 적용되는 유동공기의 방전특성과 같이 공기의 유속 증가에 따른 아크방전로내의 하전입자 및 열에너지의 감소에 의해 전극 사이의 공기 절연이 회복됨에 따라 아크전압이 상승되는 것과 유사한 현상으로 볼 수 있다.¹⁰⁾

따라서 인가자계에 의해 아크방전로내의 하전입자 및 열에너지 감소가 전극 사이의 공기 절연내력을 회복시키므로 이상의 검토는 자기차단기의 차단원리로 적용이 가능하리라 본다. 자계에 의하여 전극 사이의 절연내력이 회복되어 아크전압이 상승되고 아크전류가 감소되는 현상은 차단기의 차단용량 증가와 결부시킬 수도 있을 것이다. 그리고 본 실험에서 인가자계가 1.5(kG) 이상이 되면 V_{am} , I_{am} 변화율의 둔화가 두드러진 것으로 보아 아크방전에 미치는 영향이 최적인 자계의 세기가 존재할 것으로 추정된다.

또한 아크 동특성은 아크전압과 전류의 파형을 분석함으로써 설명이 가능하다. 그림 6의 a)는

인가자계가 0.0[kG]일 때 아크방전의 전압, 전류 파형이며 b)와 c) 그리고 d)는 전류 평균치가 1.1[mA]인 경우 인가자계가 각각 1.0[kG], 1.5[kG], 2.0[kG]일 때 아크방전의 전압, 전류파형이다.

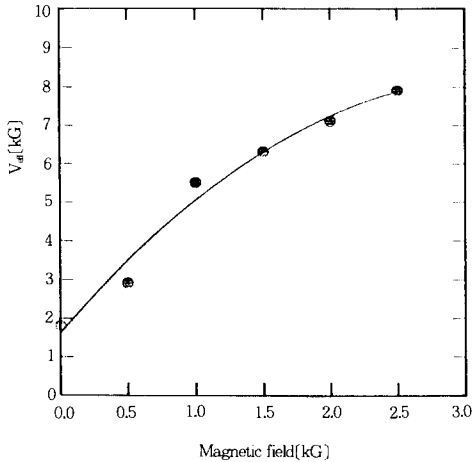


그림 4. 인가자계 변화에 따른 V_{am}의 특성
Fig. 4. Characteristic of V_{am} with variation of applied magnetic field.

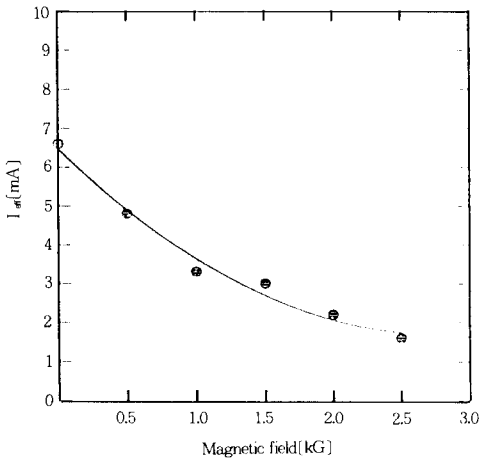


그림 5. 인가자계 변화에 따른 I_{am}의 특성
Fig. 5. Characteristic of I_{am} with variation of applied magnetic field.

이때 V/div 및 A/div을 각각 10[kV/div], 50

[mA/div]로 설정하였고 Time/div은 20[ms]으로 설정하였다.

아크 동특성이 나타나지 않는 0.0[kG]때의 아크전압과 전류파형의 파고치 변화는 그림 6의 a)에서 처럼 미미하게 나타났다. 이 때는 히싱아크(Hissing Arc)시의 “슈슈”하는 방전음을 연속적으로 발하였는데, 이것은 전극표면의 가열에 의해 전극에서 금속증기가 증발되어 아크공간으로 비산될 때 수반되는 것으로 해석되고 있다.⁵⁾ 이러한 측면에서 인가자계가 0.0[kG]일 때 아크전류파형의 특성은 다음과 같이 생각할 수 있다. 아크공간내에서 전계가 전극에서 증발된 금속증기를 전리시켜 생성된 하전입자는 아크공간의 전계를 약화시키고, 이들 하전입자가 대향전극으로 흡수되면 아크공간의 임피던스가 증가되어 아크전류는 감소하게 된다. 그러나 하전입자들의 일부만 대향전극으로 흡수되고, 아크공간에 잔류된 상태에서 흡수된 양 만큼의 하전입자가 생성되면 아크전류는 원래의 크기로 회복된다. 이 처럼 아크공간에 잔류된 하전입자가 공간전하로 작용하여 아크방전로의 도전성을 어느정도 유지시키고 있는 상태에서 하전입자의 수가 증감되는 과정이 연속적으로 되풀이됨으로써 아크전류는 파고치의 증감이 미미한 파형으로 되었고 이에 따라 아크전압의 파고치 증감도 미미하였다고 생각된다.

그리고 전류의 크기는 펄스당 전하량에 비례하고 펄스면적은 전하량을 나타내기 때문에¹⁰⁾ 인가자계가 0.0[kG]일 때 아크방전로내의 하전입자수의 변화가 크지 않음을 전류파형으로 부터 알 수 있다.

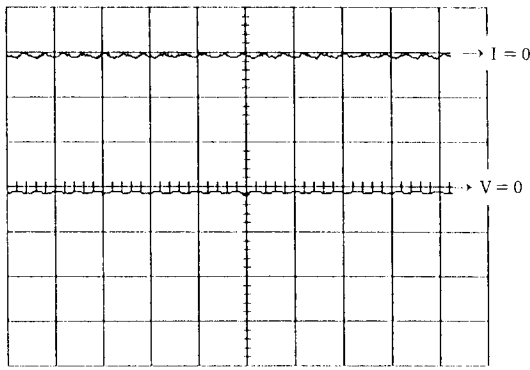
그림 6의 b)와 c) 그리고 d)는 자계가 인가되어 아크 동특성이 나타났을 때의 아크전압과 전류파형이며 전압과 전류의 파고치가 일정한은 아크전류의 크기가 동일한 상태임을 의미하고 파고치 변화 방향이 반대인 것, 즉 전류가 부의 방향으로 증가하면 아크방전로의 임피던스에 의한 전압강하가 정의 방향으로 일어난 것은 부극성 직류전압을 인가하였음을 시사하고 있다.

또 인가자계를 증가시킬수록 펄스당 전하량을 나타내는 펄스면적이 감소된 반면에 펄스주파수가 증가되어 전체 전하량의 변화는 없는 것으로

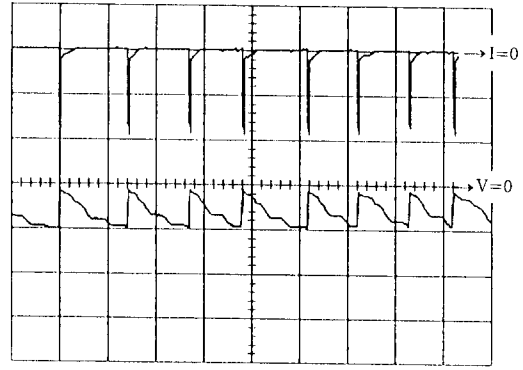
나타났다. 이것은 아크전류의 평균치가 일정하면 전체 전하량의 변화가 없어야 하므로 펄스수가 증가되면 전하량에 해당되는 펄스 개개의 면적이 감소되어 전체 전하량이 일정하게 유지되었기 때문이다.¹⁰⁾

인가자계가 커질수록 펄스주기가 짧아졌음은 다음과 같은 전자력의 작용에 기인된 것이라 생각된다. 큰 전류가 흐르고 있는 아크방전로에 자계가 인가되면 전자력이 발생되고, 이 전자력 방향으로 아크방전로내의 하전입자가 대부분 일소됨에 따라 전류는 순간적으로 크게 감소되고 전계도 회복되기 시작한다. 그 후 전극 사이에 잔류공간저하로 남게되는 하전입자들이 전계에 의

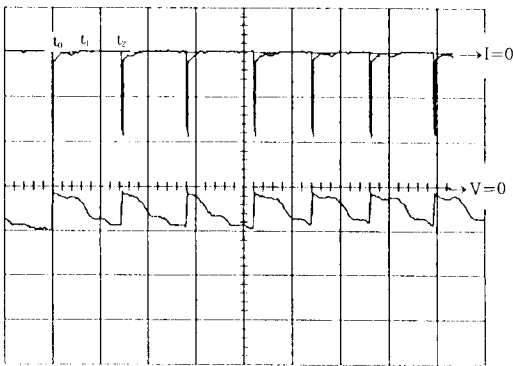
해서 전극에 흡수됨에 따라서 아크전류도 서서히 감소되고 전계도 더욱 회복된다. 그리고 잔류공간저하가 대부분 전극으로 흡수되면 아크전류는 흐르지 않게 되고, 전극사이의 전계도 완전히 회복되어 아크방전이 종식되지만 인가전압에 의해 공기의 전리작용이 재개되면 재차 아크방전이 일어나서 위의 과정을 되풀이하는 아크 동특성이 나타난다고 할 수 있다. 또 인가자계가 증가되면 전자력이 커지므로 일소되는 하전입자의 수가 증가될 것이고 이에 따라 잔류공간전하의 수도 감소되므로 전계회복시간이 짧아져 펄스의 주기 즉 아크방전 발생 빈도가 증가되는 것으로 추론할 수 있다.



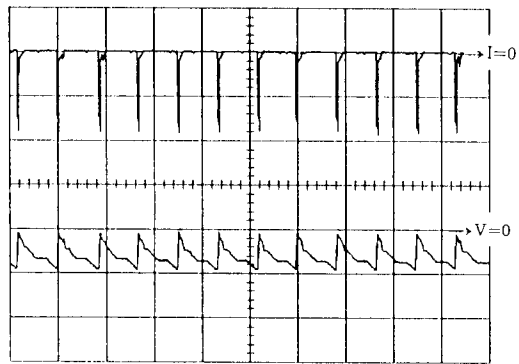
V/div=10[kV/div], A/div=50[mA/div], Time/div=20[ms]
a) 0[kG]



V/div=10[kV/div], A/div=50[mA/div], Time/div=20[ms]
c) 1.5[kG]



V/div=10[kV/div], A/div=50[mA/div], Time/div=20[ms]
b) 1.0[kG]



V/div=10[kV/div], A/div=50[mA/div], Time/div=20[ms]
d) 2.0[kG]

그림 6. 인가자계 증가에 따른 아크 전류와 전압 파형
Fig. 6. Waveforms of arc current and voltage with increment of applied magnetic field.

그림 6의 b)에 표기된 것 처럼 아크전류펄스가 생성된 시점을 t_0 , 소멸되는 시점을 t_1 이라 하고 다음 펄스가 생성되는 시점을 t_2 라 하면, t_1-t_0 는 아크지속시간, t_2-t_1 는 전계회복시간, t_2-t_0 는 펄스주기로써 1회 아크방전 시간이 된다.

전술한 바와 같이 인가자계가 증가되면 아크방전은 자계의 영향에 의해 아크공간내에 존재하는 하전입자들이 감소되므로 펄스당 전하량에 상응하는 t_1-t_0 가 감소될 뿐만 아니라 잔류공간전하 일소시간이 짧아져서 t_2-t_1 도 감소된다. 따라서 인가자계가 증가될수록 아크방전의 생성과 소멸 빈도가 증가되었음을 알 수 있다.

이상의 아크전압과 전류파형 변화에 대한 검토를 차단기의 차단원리와 비교하여 보면 아크방전이 일어나서 아크전류펄스가 생성된 시점 t_0 를 차단기에서는 아크점호가 일어나는 시간, 아크방전이 종식되어 펄스가 소멸되는 시점 t_1 을 차단기에서의 전류영점시간, 전극 사이의 절연이 회복되어 다음 펄스가 생성되는 시점 t_2 를 차단기에서의 재점호시간이라 하면, 결과적으로 t_2-t_1 은 잔류공간전하의 소멸에 의해 차단기 점점 사이의 절연이 회복되는 시간이라고 할 수 있다.

차단기는 전류영점(t_1 시점)에서 차단되기 시작하여 t_2-t_1 시간 동안에 점점 사이의 절연이 회복되어 전류가 완전히 차단되도록 고안되어 있다. 이러한 견지에서 인가자계의 증가에 따른 아크전류와 전압파형인 그림 6의 a)b)c)를 비교하여 보면 자계가 인가된 b)c)d)의 전류파형에는 전류영점이 존재될 뿐만 아니라 그 지속시간이 20(ms) 이상이고, 전류영점이 생성 소멸되는 주기도 인가자계가 증가될수록 증가되었다. 그러나 인가자계가 0.0(kG)인 a)의 전류파형에는 전류영점이 거의 존재되지 않고 존재되더라도 지속시간이 아주 짧아 지속성이 없음을 알 수 있다.

이상 비교에서 인가자계가 0.0(kG)인 경우 전류영점이 거의 존재되지 않으므로 직류전류의 차단은 곤란하지만 자계가 인가되면 아크전류는 전류영점까지 감소되었다가 증가되는 거의 규칙적인 파형으로 될 뿐만 아니라 인가자계가 증가될수록 전류영점이 발생하는 빈도가 증가되므로 직류 차단설비에 자계를 이용함으로써 직류 대전류

차단이 가능할 것으로 판단된다.

4. 결 론

자계내에서 침-평판전극에 부극성 직류전압 인가시 아크방전전압 및 전류 그리고 이들의 파형 변화를 인가자계의 강도에 따라 비교 분석함으로써 자계가 아크방전에 미치는 영향을 조사하여 자기차단기의 직류전류차단 현상을 규명을 위한 본 연구에서 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 자계가 인가되지 않았을 때 아크방전이 일어나면 아크전압의 감소와 함께 아크전류의 증가가 순간적으로 일어난 후 이 상태가 유지되는 현상이 나타난 반면에 자계가 인가된 상태에서 아크방전이 일어나면 순간적인 아크전압의 감소와 함께 아크전류가 증가되는 현상이 일차적으로 나타난 후 아크 동특성 과정을 거치면서 아크전압과 전류가 일정하게 유지되었다.

2) 자계가 인가되면 자계가 인가되지 않았을 때 보다 아크전압이 증가되고 아크전류가 감소됨은 전자력에 의해 절연회복 효과를 기할 수 있으므로 차단기의 차단능력을 향상시킬 수 있을 것이다.

3) 아크전압과 전류의 변화율이 인가자계가 증가될수록 포화된 것으로 보아 자계가 아크방전에 영향을 미치는 최적인 자계의 세기가 존재할 것으로 판단된다.

4) 자계가 인가되지 않은 경우에 직류 아크방전시 아크전류파형은 전류영점이 아크전류에 존재하지 않았지만 자계가 인가되면 전류영점이 존재하게 됨을 확인하였다.

5) 일반적으로 교류 차단시 차단기점을 전류영점으로 기준하지만 직류에는 전류영점이 존재하지 않아서 직류 대전류의 차단이 곤란하다. 그러나 자계내에서의 아크방전 현상을 응용하면 직류 대전류 차단기 개발이 가능하리라 판단된다.

참 고 문 헌

1) Merle N. Hirsch and H. J. Oskam, "Gaseous Electronics", Electrical Discharge, Academic Press, Vol.1, pp 17, 291-341, 1978.

- 2) Thomas E. Browne, JR, "Circuit Interruption" Marcel Dekker Inc, pp.1~10, 18, 1984.
- 3) A. Gleizes, A. M. Rahal, "Study of a circuit-breaker arc with self-generated flow", IEEE Trans. Plasma Science, Vol. 16, Dec., pp.615~622, 1988.
- 4) Y. Nagano, N. Tahara, K. Ohasawa, "DC Arc Interruption in High Pressurized Water", Trans. IEE of Japan, Vol. 109-B, No. 12, pp.559, 1989.
- 5) 本多侃士, "氣體放電現象", 東京電機大學出版局, 第6章, 昭和39年.
- 6) R. L. Longini, "A Note Concerning the Motion of an Arc Cathode Spot in Magnetic Field", Phys.Rev., Vol.71, No.1, pp.642, 1947.
- 7) M. Khalifa, "High-Voltage Engineering Theory and Practice", Marcel Dekker, Inc., pp.145~167, 1990.
- 8) G. R. Jone, "High pressure arc in industrial devices diagnostic and monitoring techniques", Cambridge Univ. Press, pp. 23, 1988.
- 9) 李德圭, "플라즈마 및 核融合物理學", 螢雪出版社, pp. 123~128, 1985.
- 10) 이동인, 이광식, "직류전압 인가시 유동공기의 방전특성", 대한전기학회논문지, 36권 3호, pp.213~220, 1987.
- 11) W. L. Lama and C. F. Gallo, "Systemic study of electrical characteristic of the Trichel current pulses from negative needle-to-plane coronas", J. Appl.Phys., Vol. 45, No.1, pp. 103~113, 1974.

◇ 著 者 紹 介 ◇



이 동 헌(李東憲)

1953年 7月 21日生. 1977년 경북대 문리대 물리학과 졸업. 1995년 영남대 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 구미전문대학 전기과 조교수.



이 광 식(李廣植)

1948年 10月 20日生. 1971년 영남대 공대 전기공학과 졸업. 1987년 동대학원 전기공학과 졸업(박사). 1988~1989년 Nagoya Institute of Technology 초빙교수. 현재 영남대 공대 전기전자공학부 교수. 당학회 이사, 대구·경북지회장겸 편수위원장.



송 현 직(宋炫直)

1968年 7月 30日生. 1991년 영남대 공대 전기공학과 졸업. 1992년 동대학원 전기공학과 졸업(석사). 1995년 동 대학원 전기공학과 박사

과정 수료.



이 동 인(李東仁)

1936年 10月 19日生. 1959년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1973~1977년 영국 Strathclyde대 대학원 졸업(박사). 1982~1983년 미국 South Carolina대 방문교수. 현재 영남대 공대 전기전자공학부 교수, 대한전기학회 평의원 및 대구지부장역임.



박 원 주(朴元柱)

1954年 3月 14日生. 1978년 영남대 공대 전기공학과 졸업. 1992년 일본 큐우슈대학교 대학원 졸업(박사). 현재 영남대 공대 전기전자공학부

부교수.